

DOI: 10.12731/wsd-2018-1-75-89

УДК 574. 2

ПИГМЕНТНЫЙ СОСТАВ ФОНОВЫХ ЭПИФИТНЫХ ВИДОВ БРИО- И ЛИХЕНОБИОТЫ КРУПНЫХ ГОРОДОВ КАК БИОИНДИКАЦИОННЫЙ ПРИЗНАК

Злыднев А.А., Онофрейчук О.Н., Анищенко Л.Н.

Выявлены биохимические показатели общего состояния воздуха в городах – содержание фотосинтетического пигмента в биомассе лишайников и зелёных мхов. Установлена валовая концентрация фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a* и *b*) и на их основе выделены 2 зоны: с высоким и низким содержанием пигментов для города Брянска и Орла.

Оптимальное соотношение хлорофиллов *a* и *b* (5 : 3) не определено ни для одной пробы биомасс, в среднем для г. Брянска – 2,2 : 4,3, для г. Орла – 2,5 : 3,4. Малые значения концентрации хлорофилла *a* определены для экотопов эпифитных мхов и лишайников в центральных районах и для зон воздействия передвижных источников загрязнения. Для биомасс лишайников в пробах Орла максимальное значение концентрации хлорофилла *a* превышает минимальную концентрацию в 7,2 раза, для хлорофилла *b* – в 20,1 раза. Для биомасс мхов в пробах города Орла максимальное значение концентрации хлорофилла *a* превышает минимальную концентрацию в 8,3 раза, хлорофилла *b* – в 17,9 раз. Для биомасс эпифитных бриофитов в Брянске наибольшие значения валового содержания хлорофилла *a* выше минимальных в 5,2 раза, хлорофилла *b* – в 19,6 раз. Вариабельность показателей пигментов для гаметофитов фоновых видов зелёных мхов низкая, что подтверждает достоверность данных. Вариабельность признаков для *Orthotrichum spesiosum* по хлорофиллу *a* составила 12 %, хлорофиллу *b* – 17%, у *Pyloisia polyantha* по хлорофиллу *a* – 14 %, хлорофиллу *b* – 15%, у *Amblystegium serpens* по хлорофиллу *a* – 12 %, хлорофиллу *b* – 14%. Вариабельность концентрации пигментов для талломов лишайников низкая, находится в пределах нормы. Вариабельность признака для *Xanthoria parietina* рассчитана по хлорофиллу *a* – 11%, хлорофиллу *b* – 15%, для *Phiscia ciliata* по хлорофиллу *a* – 12%, хлорофиллу *b* – 17%, для *Phiscia pulverulenta* по хлорофиллу *a* – 13%, хлорофиллу *b* – 15%, для *Melanelia olivacea* по хлорофиллу *a* – 14%, хлорофиллу

*b – 12%. Для биохимической индикации общего состояния воздуха можно использовать содержание показательного пигмента – хлорофилла *b*. Для экотопов двух крупных городов староосвоенного региона создана база данных для биохимического мониторинга с использования распространённых видов биоиндикаторов.*

Ключевые слова: *фотосинтетические пигменты; хлорофилл *a*; хлорофилл *b*; лишенобиота; бриобиота; урбозкосистема; Брянск; Орёл.*

PIGMENTAL COMPOSITION OF BACKGROUND EPIPHYTIC SPECIES OF BRIO- AND LYCHENOBYOTES OF LARGE CITIES AS BIOINDICATION TISSUE

Zlydnev A.A., Onophreychuk O.N., Anishchenko L.N.

*Biochemical indices of the general state of air in cities are revealed - the content of photosynthetic pigment in the biomass of lichens and green mosses. The total concentration of photosynthetic pigments (chlorophylls *a* and *b*) is established and on their basis 2 zones are distinguished: high and low pigment content for the city of Bryansk and Orel.*

*The optimal ratio of chlorophylls *a* and *b* (5: 3) is not determined for any sample of biomass, on average for Bryansk – 2.2: 4.3, for Orel – 2.5: 3.4. Small values of chlorophyll *a* concentration are determined for ecotopes of epiphytic mosses and lichens in central regions and for zones of exposure to mobile sources of pollution. For lichen biomass in Eagle samples, the maximum concentration of chlorophyll *a* exceeds the minimum concentration by 7.2 times, for chlorophyll *b* – by 20.1 times. For moss biomass in the samples of the city of Orel the maximum value of the concentration of chlorophyll *a* exceeds the minimum concentration by 8.3 times, chlorophyll *b* – by 17.9 times. For the biomass of epiphytic bryophytes in Bryansk, the highest values of the total chlorophyll *a* content are 5.2 times higher than the minimum and chlorophyll *b* – 19.6 times. The variability of pigment parameters for gametophytes of background species of green mosses is low, which confirms the reliability of the data. The variability of the signs for *Orthotrichum spesiosum* by chlorophyll *a* was 12%, chlorophyll *b* – 17%, *Pylaisia polyantha* chlorophyll *a* – 14%, chlorophyll *b* – 15%, *Amblystegium serpens* chlorophyll *a* 12%, chlorophyll *b* 14%. The variability of the concentration of pigments for lichen thalloms is low, within normal limits. The variability of the trait for *Xanthoria parietina**

is calculated for chlorophyll a – 11%, for chlorophyll b – 15%, for Phiscia ciliata for chlorophyll a – 12%, for chlorophyll b – 17%, for Phiscia pulverulenta for chlorophyll a – 13%, for chlorophyll b – 15%, Melanelia olivacea for chlorophyll a – 14%, chlorophyll b – 12%. For the biochemical indication of the general state of air, the content of the demonstrative pigment, chlorophyll b, can be used. For ecotopes of two large cities of the old-developed region, a database for biochemical monitoring has been created using common types of bioindicators.

Keywords: *photosynthetic pigments; chlorophyll a; chlorophyll b; licheno-biot; bribiote; urboecosystem; Bryansk; Oryol.*

Введение

Показатели биохимической индикации общего состояния сред обитания особенно хорошо разработана для сосудистых растений, для лишайников и мохообразных происходит накопление материалов и определение показательных критериев. Наиболее интересно использование количественных показателей содержания фотосинтетических пигментов [1–3]. Геохимические особенности урбосреды оказывают влияние на содержание основного пигмента – хлорофилла а – основного фотосинтетического пигмента, изменение его концентрации, увеличение концентрации вспомогательного хлорофилла b, выполняющего протекторные функции [4–8]. Актуальна разработка брио- и лишеноиндикационных показателей состояния воздуха городов на основе характеристик основных групп фотосинтетических пигментов как элемента адаптационных реакций брио- и лишенообиты [9, 10]. Эпифитные мохообразные и лишайники эффективно накапливают загрязнители, весь год не покрыты снегом, основной фактор воздействия – аэрозольное загрязнение. Ранее доказано преимущественное использование эпифитных видов по сравнению с остальными экологическими группами для диагностики состояния воздуха в антропогенно изменённых ландшафтах [3, 9, 11–13].

Цель работы – обобщить данные о биохимическом биоиндикационном признаке фоновых видов эпифитной брио- и лишенообиты – валовой концентрации фотосинтетических пигментов – для урбоэкосистем средней России на примере городов Брянска и Орла.

На сегодняшний день фоновые виды эпифитной лишенообиты широко используются в качестве достоверных биоиндикаторов воздушного бассейна урбосреды как на территории РФ, так и за рубежом [11, 14, 15]. Исследования в этой области неоднократно подтверждают, что хлорофилл

чувствительно реагирует на все изменения (в частности на поллютанты) в обмене веществ и при неблагоприятных условиях изменяется как его общее содержание, так и соотношение отдельных форм. И это значит, что по содержанию хлорофилла в слоевищах эпифитных лишайников, мохообразных можно судить оценивать состояние окружающей среды урбоэкосистемы [5, 15–17].

Исследования показали, что уровни хлорофилла в значительной мере подвержены воздействию загрязнителей. Сообщалось о влияниях на хлорофилл, как концентрации загрязнителей, так и времени их воздействия, в результате чего менялось содержание общего хлорофилла, соотношение хлорофиллов а:b или отношение хлорофилла к продуктам его распада, снижался процент концентраций хлорофилла [1, 4, 5, 10].

Материалы, методы и методики

Сбор лишенобиоты производился в городе Брянске и Орле в 2017 г. с древесных видов на высоте 1–1,5 м. [18]. Было обследовано 31 участок в г. Брянске и 26 участков в г. Орле, определен видовой состав эпифитных лишайников и мохообразных, установлены фоновые для исследования виды с опорой на ранее проведённые исследования [2, 16]. Учётные точки были заложены во всех функциональных частях городов с выделением четырёх групп зон: центральные территории административные районы, периферийные территории, зелёные зоны и парки (зона рекреации), селитебные территории, частная застройка, внутридворовые территории.

Ведущие семейства лишенофлоры – *Parmeliaceae*, *Lecanoraceae*, *Physciaceae*, *Teloschistaceae*, доминирующие по числу видов рода лишайников – *Lecanora* и *Physcia*. Массово распространены по территории городов: *Xanthoria parietina*, *Physcia ciliata*, *Physcia pulverulenta*, *Caloplaca decipiens*, *Melanelia olivacea* [16]. Фоновые виды бриофлоры – зелёные мхи *Orthotrichum obtusifolium* Brid., *Orthotrichum speciosum* Nees, *Pylaisia polyantha* (Hedw.) Bruch et al., *Amblystegium serpens* (Hedw.) Bruch et al. Номенклатура зелёных мхов указана по чек-листу М.С. Игнатова с соавторами, лишайников – согласно списка лишайников России [19, 20].

На каждой пробной площадке отбирались пробы эпифитных мхов и лишайников. Собранные образцы высушивались при комнатной температуре в лабораторных условиях, затем пробоподготовка проводилась с применением 96% спирта. Валовую концентрацию пигментов вычисляли на основе оптической плотности спектрофотометрическим методом. Определение концентрации пигментов без их предварительного разде-

ления проводились на спектрофотометре КФК-3 при двух длинах волн: 665 и 649 нм [21].

Рассчитывалось два показателя: концентрация пигментов хлорофиллов *a* и *b* (С) и количество пигментов в расчёте на 1 г сухой массы (А). Принимали во внимание ранее выявленное как состояние «норма» о соотношении хлорофиллов *a* и *b* в соответствии с их функциями в норме находится примерно в пропорциях – 5 : 3 [22]. Статистические расчёты проводились по общепринятым параметрам [23].

Результаты исследований

Биохимический показатель – концентрация фотосинтетических пигментов – выявлялся для двух городов средней России, различающихся по площади ($S=230 \text{ км}^2$ – г. Брянск, а $S=111 \text{ км}^2$ – г. Орёл) и удалённых друг от друга на 117 км^2 . Оба города – административные центры двух областей (Брянской и Орловской) с хорошо развитой инфраструктурой, транспортной сетью и значительной сочетанного действия антропогенной нагрузкой. Концентрации хлорофиллов для биопроб эпифитных лишайников в двух крупных городах описаны ниже.

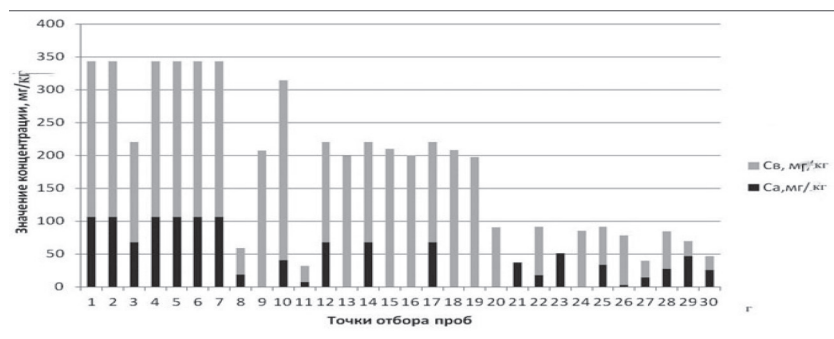


Рис. 1. Концентрация фотосинтетических пигментов (г. Брянск)

Примечание: 1. р. Болва; 2. парк Metallургов; 3. ул. Клиновская (шк. №17); 4. ул. Нахимова; 5. ул. Клиновская; 6. ул. Ново-Советская; 7. ул. Маяковского; 8. ул. Литейная (шк. № 13); 9. ул. Вокзальная (ст. Фасонолитейная); 10. ул. Советская, 94; 11. ГП «Линия» (Самолет); 12. ул. Дуки (Курган); 13. ул. 3-июля; 14. ул. В. Сафроновой; 15. ул. Костычева, 45; 16. ул. Крахмалева; 17. ул. Фокина, 159; 18. ул. Бежицкая, 16; 19. пер. Фокина, 6; 20. пер. Авиационный; 21. просп. Московский, з-д Сельмаш; 22. пр-кт Московский (бол. №5); 23. пр-кт Московский, 100; 24. пр-кт Московский, 80; 25. р-кт Московский; 26. улица Тельмана; 27. ул. Тухачевского; 28. ул. Чернышевского; 29. ул. Красный Маяк; 30. перек-т ул. Чернышевского и ул. Рылеева.

При анализе числовых значений валовой концентрации хлорофиллов *a* и *b* для г. Брянска отмечено, что минимальное значение концентрации хлорофилла *a* зарегистрировано в точке 26 ($C_a = 2,75$ мг/л), максимальное значение хлорофилла *a* наблюдается сразу в шести точках отбора проб из 30 исследуемых ($C_a = 106,32$ мг/л), в точках 9, 13, 15, 16, 18, 19, 20 и 24 содержание исследуемого пигмента не установлено. Минимальное значение концентрации хлорофилла *b* зарегистрировано в точке 30 ($C_b = 20,52$ мг/л), а максимальное значение концентрации хлорофилла *b* (273,6 мг/л) отмечается в точке 10.

Для города Брянска максимальное значение концентрации хлорофилла *a* превышает минимальную концентрацию в 38,7 раз. Для хлорофилла *b* разница между максимальным и минимальным значениями составляет 13,3 раз.

При анализе числовых значений концентрации хлорофиллов *a* и *b* для г. Орел отмечено, что минимальное значение концентрации хлорофилла *a* зарегистрировано в точке 1 ($C_a = 14,44$ мг/л), максимальное значение хлорофилла *a* наблюдается в точке 15 ($C_a = 103,32$ мг/л), в точках 2, 10, 16 содержание исследуемого пигмента не установлено. Минимальное значение концентрации хлорофилла *b* зарегистрировано в двух точках 5 и 6 ($C_b = 11,78$ мг/л), а максимальное значение концентрации хлорофилла *b* (237 мг/л) отмечается в точке 15, так как и по максимальной концентрации хлорофилла *a*.

Для биомасс лишайников в пробах г. Орла максимальное значение концентрации хлорофилла *a* превышает минимальную концентрацию в 7,2 раза. Для хлорофилла *b* разница между максимальным и минимальным значениями составляет 20,1 раз.

Эти данные говорят о том, что соотношение концентрации хлорофилла *a*, и хлорофилла *b* отражают общее состояние воздушной среды для двух исследуемых урбоэкосистем, удаленных друг от друга на незначительное расстояние (117 км²) и отличающихся не только по расположению, площади, климатическим условиям, степени антропогенной нагрузки, но и по др. показателям. Исследования подтверждают индикационные свойства эпифитной лишайнобиоты.

Для исследуемых районов городов выделено 2 группы зон по количественному значению концентрации хлорофилла *a* и *b* – с высоким значением концентрации, и низким значением концентрации. Вариабельность концентрации пигментов для талломов лишайников низкая, находится в пределах нормы. Вариабельность признака для *Xanthoria parietina* рассчитана по хлорофиллу *a* – 11%, хлорофиллу *b* – 15%, для *Phiscia ciliata* по хлорофиллу *a* – 12%, хлорофиллу *b* – 17%, для *Phiscia pulverulenta* по хлорофиллу *a* – 13%, хлорофиллу *b* – 15%, для *Melanelia olivacea* по хлорофиллу *a* – 14%, хлорофиллу *b* – 12%.

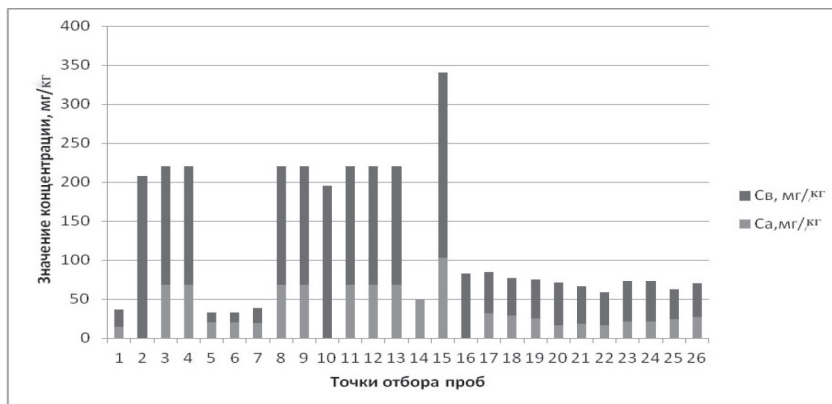


Рис. 2. Концентрация фотосинтетических пигментов (г. Орёл)

Примечание: 1. ул. Салтыкова-Щедрина; 2. ул. Комсомольская (автовокзал); 3. ул. Комсомольская, 45; 4. ул. Комсомольская, 144; 5. пер. Карачевский; 6. ул. Московская, 102; 7. ул. Московская; 8. ул. Полесская; 9. ул. Салтыкова-Щедрина, сквер Гуртьева; 10. ул. Московская; 11. ж/д-вокзал; 12. сквер ОГУ им. И.С. Тургенева; 13. сквер ОГУ; 14. ш. Карачевская; 15. ул. Комсомольская; 16. ул. 1-Курская д. 70, 72; 17. ул. 2-Курская, 57; 18. ул. 5 августа, 50; 19. Кромское шоссе (парк, окраина города); 20. Кромское шоссе; 21. Кромское шоссе (УФСИН); 22. ул. Молдавская, 27; 23. ул. Ливенская; 24. ул. 5 августа; 25. ул. 5 августа (колледж); 26. ул. Ливенская, 68 (парк).

Итак, видовая изменчивость содержания хлорофиллов отражает состояние условий среды и может служить критерием экологической оценки местообитаний; хлорофилл b – более информативный показатель индикации для г. Орел, так как его повышенное содержание указывает на приспособленность к большой амплитуде изменения освещенности, что позволяет растениям эффективно использовать свет малых интенсивностей.

Для биомассы лишайников (г. Брянск) информативнее является концентрация хлорофилла a, что свидетельствует о хорошей освещённости и интенсивных процессах фотосинтеза в исследуемых ПП.

Все полученные данные являются основой для дальнейших исследований по видовой изменчивости содержания хлорофиллов в биомассе биоиндикаторов и основой для картирования территории урбоэкосистем.

Для биомассы фоновых видов мохообразных (зелёных мхов) содержание фотосинтетических пигментов показаны на рисунках 3–5.

В условиях крупных городов содержание хлорофиллов в гаметофитах зелёных мхов и их соотношение, близкое к оптимальным, определено

для ПП на периферии городов, а также в парках, скверах (рекреационной зоне). Наибольшее преобладание хлорофиллов *b* как стрессорного пигмента определено в пробах фитомассы для центральных административных районов городов: для г. Брянска показатели наибольшие. Показатель соотношения пигментов для гаметофитов зелёных мхов в среднем для г. Брянска – 2,2 : 4,3, для г. Орла – 2,5 : 3,4, что отклоняется от оптимальных.

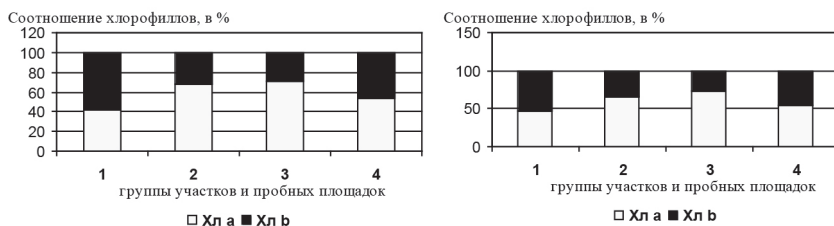


Рис. 3. Соотношение концентраций (в %) фотосинтетических пигментов для биопроб эпифитных мохообразных г. Брянска (слева) и г. Орла (справа)

Примечание. Группа участков 1 – центральные территории административных районов; группа участков 2 – периферийные территории городов, группа участков 3 – в зелёных зонах и парках (зона рекреации); группа участков 4 – селитебные территории, частная застройка, внутридворовые территории.

Наибольшая концентрация хлорофилла *a* в побеговой массе для мхов зарегистрирована на ПП в зелёных зонах: парках, скверах, среднее значение – на периферийных участках в том числе и окраинах городов, в зоне частной застройки.

С хлорофилла *a*, мг/кг

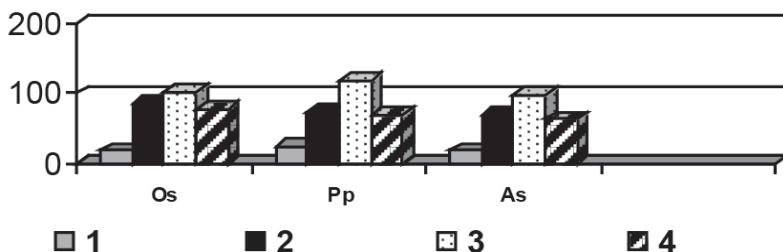


Рис. 4. Концентрации хлорофилла *a* в биомассе эпифитных мхов г. Брянска

Примечание. Условные обозначения видов зелёных мхов: Os – *Orthotrichum spesiosum*, Pp – *Pylaisia polyantha*, As – *Amblystegium serpens*. Группа участков: обозначения как на рис. 3.

Наибольшее содержание хлорофилла *a* зарегистрировано для *Pylaisia polyantha*, наименьшее – для *Orthotrichum spesiosum* в центральных административных районах.

Концентрации основного фотосинтетического пигмента в пробах фитомассы трёх видов бриофитов различаются статистически недостоверно, следовательно, каждый из видов может служить биоиндикатором по биохимическим признакам.

С хлорофилла *a*, мг/кг

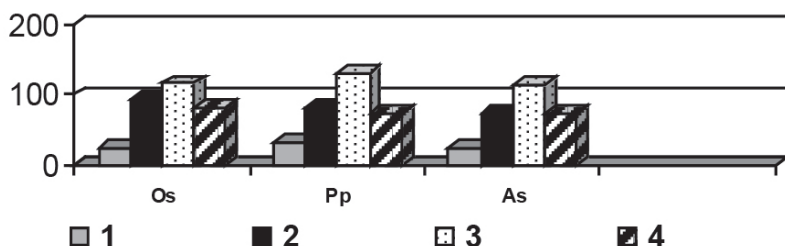


Рис. 5. Концентрации хлорофилла *a* в биомассе эпифитных мхов г. Орла

Примечание. Условные обозначения как на рис. 3.

Данные по содержанию хлорофилла *a* в побеговой биомассе на ПП г. Орла аналогичны данным по г. Брянску. Значительная концентрация пигмента наблюдается в пробах мхов в зелёных зонах и парках, в том числе и скверах на окраине городов.

Вариабельность показателей пигментов для гаметофитов фоновых видов зелёных мхов низкая, что подтверждает достоверность данных. Вариабельность признаков для *Orthotrichum spesiosum* по хлорофиллу *a* составила 12%, хлорофиллу *b* – 17%, у *Pylaisia polyantha* по хлорофиллу *a* – 14%, хлорофиллу *b* – 15%, у *Amblystegium serpens* по хлорофиллу *a* – 12 %, хлорофиллу *b* – 14%.

Для биомасс мхов в пробах г.Орла максимальное значение концентрации хлорофилла *a* превышает минимальную концентрацию в 8,3 раза, хлорофилла *b* – в 17,9 раз. Для ПП в г. Брянске наибольшие значения валового содержания хлорофилла *a* выше минимальных в 5,2 раза, хлорофилла *b* – в 19,6 раз.

Содержание хлорофилла *a* в гаметофитах фоновых мхов выше, чем показатели для слоевищ лишенобиоты. Во всех образцах побегов зелёных мхов концентрация хлорофилла *b* изменяется от 20,0 до 230,0 мг/кг сухой массы.

Валовая концентрация хлорофиллов в биомассе талломов лишайников и побеговой массе эпифитных мхов ниже, чем показатели, выявленные для сосудистых древесных растений [24].

Заключение

Таким образом, состояние пигментного аппарата фоновых видов лишайников и мхов в условиях крупной урбоэкосистем связано с изменяющимся уровнем антропогенного воздействия. Ни для одной пробной площадки в крупных городах в слоевищах лишайников и побеговой биомассе эпифитных мхов не определено оптимальное соотношение хлорофиллов a и b – для г. Брянска – 2,2 : 4,3, для г. Орла – 2,5 : 3,4. Наиболее низкие значения концентрации хлорофилла a рассчитаны для экотопов видов-биоиндикаторов центральных районов и зон воздействия передвижных источников загрязнения. Виды лишайников и мхов могут использоваться для определения общего состояния воздуха в городах как по отдельным видам, так и в смешанных образцах, для них выявлена низкая вариабельность признаков – содержание пигментов. Так как содержание хлорофилла b различается в наибольшей степени по максимальному и минимальному значению и для мхов и для лишайников, целесообразно определять концентрацию только этого пигмента.

Для экотопов двух крупных городов староосвоенного региона создана база данных для биохимического мониторинга с использования распространённых видов биоиндикаторов.

Список литературы

1. Андрианова Ю.Е., Тарчевский И.А. Хлорофилл и продуктивность растений. М.: Наука, 2000. 135 с.
2. Анищенко Л.Н., Сковородникова Н.А., Борздыко Е.В. Химическая лишайноиндикация как основа биомониторинга воздуха в антропогенных экосистемах // Фундаментальные исследования. 2015. № 2–10. С. 2144–2148. URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10006640. (дата обращения: 27.02.2018)
3. Бязров Л.Г. Лишайники в экологическом мониторинге. М.: Научный мир, 2002. 336 с.
4. Harmens H., Mills G., Hayes F. et. al. Air pollution and vegetation ICP Vegetation: annual report 2009/10. Bangor, 2010: [site ICP Vegetation]. URL: <http://icpvegetation.ceh.ac.uk/publications/annual.html> (дата обращения: 27.02.2018).

5. Воронина О.Е., Ефимцев Е.И., Татарина Т.А. Пигментный аппарат растений в условиях антропогенного воздействия // Вестник Московского государственного университета леса. 1999. № 2. С. 82.
6. Gossiau A., Rensing L. Oxidativer Stress, altersabhängige Zellschädigungen und antioxidative Mechanismen // Z. für Gerontologie und Geriatrie. 2002. Vol. 35, pp. 139–150.
7. Неверова О.А. Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды // Биофизика. 2010. Т.1, № 1. С. 82–92.
8. Anishchenko L.N. Bryoindication of the General State of Atmosphere in an Urban Ecosystem: The Example of the City of Bryansk // Russian Journal of Ecology, 2009. Vol. 40. No. 4, pp. 247–253.
9. Nikodemus O., Brūmelis G., Tabors G., Lapina L., Pope S. Monitoring of air pollution in Latvia between 1990 and 2000 using moss // Journal of Atmospheric Chemistry. 2004, pp. 521–531.
10. Шапиро И.А. Влияние температуры на дыхание некоторых лишайников, содержащих зеленый или цианобактериальный фотобионт // Ботанический журнал. 2007. Т.92. №10. С. 1568–1574.
11. Tyler G. Bryophytes and heavy metals: a literature review // Botanical journal of Linney society. 1990. Vol. 104. № 1-3, pp. 231–253.
12. Рогова Н.С., Рыжакова Н.К., Борисенко А.Л., Меркулов А.Г. Изучение аккумуляционных свойств мхов, используемых при мониторинге загрязнения атмосферы // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24. № 1.
13. Рыжакова Н.К., Борисенко А.Л., Меркулов В.Г. Рогова Н.С. Контроль состояния атмосферы с помощью мхов-биоиндикаторов // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 1. С. 101–104.
14. Домнина Е.А., Шапиро И.А., Быков О.Д. Изменение фотосинтеза и дыхания лишайников в районе Кирово-Чепецкого химического комбината // Ботанический журнал. 2007. Т.92. №4. С. 515–523.
15. Martin Juri, Noble Reinold, Scwab Danie. Lichen and moss surface analysis using scanning electron microscopy and energy dispersive x-ray spectroscopy // Proc. Ect. Acad.Sci. Ecol. 1992. 2. № 3. С. 81–92.
16. Сафранкова Е.А., Анищенко Л.Н. Лихенобиота урбоэкосистем Брянской области: биоразнообразие и фитоиндикационные аспекты использования// Мониторинг биоразнообразия экосистем степной и лесостепной зон: мат. Всерос. науч.-практич. конф. / Под ред. А.И. Золотухина. Балашов: Николаев, 2012. С. 148–156.
17. Колотов Б.А., Демидов В.В., Волков С.Н. Состояние хлорофилла как фундаментальный признак деградации окружающей среды при загрязнении ее тяжелыми металлами // ДАН. 2003. Т. 393. № 4.

18. ГОСТ 24027.0-80. Правила приемки и методы отбора проб. Введ. 1981 -01 - 01. М.: Изд-во стандартов. 5 с.
19. Ignatov M.S., Afonina O.M., Ignatova E.A. and others. The check-list of mosses of East Europe and North Asia // *Arctoa*. Т. 15. 2006, pp. 1–130.
20. Список лишенофлоры России. СПб., 2010. 194 с.
21. Иванов В.Б., Плотникова И.В., Живухина Е.А. и др. Практикум по физиологии растений. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 144 с.
22. Максимова Е.В., Косицина А.А., Макурина О.Н. Влияние антропогенных факторов химической природы на некоторые эколого-биохимические характеристики растений // *Вестник СамГУ. Естественно-научная серия*. 2007. № 8 (58). С. 146–152.
23. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 424 с.
24. Павлова Л.М., Котельникова И.М., Куимова Н.Г., Леусова Н.Ю., Шумилова Л.П. Состояние фотосинтетических пигментов в вегетативных органах древесных растений в городской среде // *Вестник РУДН, серия Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2010. № 2. С. 11–19.

References

1. Andrianova Yu.E., Tarchevskiy I.A. *Khlorofill i produktivnost' rasteniy* [Chlorophyll and plant productivity]. Moscow, Nauka, 2000, 135 p.
2. Anishchenko L.N., Skovorodnikova N.A., Borzdyko E.V. Khimicheskaya likhenindikatsiya kak osnova biomonitoringa vozdukh v antropogennykh ekosistemakh [Chemical lichenindication as the basis of air biomonitoring in anthropogenic ecosystems]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Basic research], 2015, № 2-10, pp. 2144–2148. http://www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10006640 (accessed February 27, 2018).
3. Byazrov L.G. *Lishayniki v ekologicheskoy monitoringe* [Lichens in ecological monitoring]. Moscow, Nauchnyy mir, 2002, 336 p.
4. Harmens H., Mills G., Hayes F. et. al. Air pollution and vegetation ICP Vegetation: annual report 2009/10. Bangor, 2010: [site ICP Vegetation]. <http://icpvegetation.ceh.ac.uk/publications/annual.html> (accessed February 27, 2018).
5. Voronina O. E., Efimtsev E. I., Tatarinova T. A. Pigmentnyy apparat rasteniy v usloviyakh antropogennogo vozdeystviya [Pigment apparatus of plants in anthropogenic impact]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa* [Bulletin of the Moscow State Forest University], 1999, № 2, pp. 82.
6. Gossiau A., Rensing L. Oxidativer Stress, altersabhängige Zellschädigungen und antioxidative Mechanismen. *Z. für Gerontologie und Geriatrie*, 2002, Vol. 35, pp. 139–150.

7. Neverova O.A. Primenenie fitoindikatsii v otsenke zagryazneniya okruzhayushchey sredy [The use of phytoindication in the assessment of environmental pollution]. *Biofizika* [Biophysics], 2010, vol. 1, № 1, pp. 82–92.
8. Anishchenko L.N. Bryoindication of the General State of Atmosphere in an Urban Ecosystem: The Example of the City of Bryansk. *Russian Journal of Ecology*, 2009, Vol. 40, No. 4, pp. 247–253.
9. Nikodemus O., Brūmelis G., Tabors G., Lapina L., Pope S. Monitoring of air pollution in Latvia between 1990 and 2000 using moss. *Journal of Atmospheric Chemistry*. 2004, pp. 521–531.
10. Shapiro I.A. Vliyanie temperatury na dykhanie nekotorykh lishaynikov, sodержashchikh zelenyy ili tsianobakterial'nyy fotobiont [The effect of temperature on the respiration of some lichens containing a green or cyanobacterial photobiont]. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical Journal], 2007, vol. 92, №10, pp. 1568–1574.
11. Tyler G. Bryophytes and heavy metals: a literature review. *Botanical journal of Linney society*, 1990, vol. 104, № 1-3, pp. 231–253.
12. Rogova N.S., Ryzhakova N.K., Borisenko A.L., Merkulov A.G. Izuchenie akkumulyatsionnykh svoystv mkhov, ispol'zuemykh pri monitoringe zagryazneniya atmosfery [Study of the accumulative properties of mosses used in monitoring atmospheric pollution]. *Optika atmosfery i okeana* [Optics of the atmosphere and ocean], 2011, vol. 24, № 1, pp. 101–104.
13. Ryzhakova N.K., Borisenko A.L., Merkulov V.G. Rogova N.S. Kontrol' sostoyaniya atmosfery s pomoshch'yu mkhov-bioindikatorov [Monitoring of the atmosphere with the help of moss-bioindicators]. *Optika atmosfery i okeana* [Optics of the atmosphere and ocean], 2009, vol. 22, № 1, pp. 101–104.
14. Domnina E.A., Shapiro I.A., Bykov O.D. Izmenenie fotosinteza i dykhaniya lishaynikov v rayone Kirovo-Chepetskogo khimicheskogo kombinata [Change in photosynthesis and respiration of lichens in the Kirovo-Chepetsk chemical combine]. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical Journal], 2007, vol. 92, №4, pp. 515–523.
15. Martin Juri, Noble Reinold, Scwab Danie. Lichen and moss surface analysis using scanning electron microscopy and energy dispersive x-ray spectroscopy. *Proc. Ect. Acad.Sci. Ecol.* 1992, 2, № 3, pp. 81–92.
16. Safrankova E. A., Anishchenko L. N. Likhenobiota urboekosistem Bryanskoy oblasti: bioraznoobraziye i fitoindikatsionnye aspekty ispol'zovaniya [Lichenobiota of urban ecosystems in the Bryansk region: biodiversity and phytoindication aspects of use]. *Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Monitoring bioraznoobraziya ekosistem stepnoy i lesostepnoy zon»* [Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference «Mon-

- itoring of Biodiversity of Steppe and Forest-Steppe Ecosystems»]. Balashov: Mykolayiv, 2012, pp. 148–156.
17. Kolotov B.A., Demidov V.V., Volkov S.N. Sostoyanie khlorofilla kak fundamental'nyy priznak degradatsii okruzhayushchey sredy pri zagryaznenii ee tyazhelymi metallami [The state of chlorophyll as a fundamental sign of environmental degradation when it is contaminated with heavy metals]. *Doklady akademii nauk* [Reports of the Academy of Sciences], 2003, vol. 393, № 4.
 18. GOST 24027.0-80. *Pravila priemki i metody otbora prob* [Acceptance rules and methods of sampling]. 1981 -01- 01. Moscow: Izd-vo standartov, 5 p.
 19. Ignatov M.S., Afonina O.M., Ignatova E.A. et al. The check-list of mosses of East Europe and North Asia. Arctoa, 2006, vol. 15, pp. 1–130.
 20. *Spisok likhenoflory Rossii* [List of lichen floras of Russia], St. Petersburg, 2010, 194 p.
 21. Ivanov V.B., Plotnikova I.V., Zhivukhina E.A. et al. *Praktikum po fiziologii rasteniy* [Workshop on Plant Physiology]. Moscow: Publishing Center «Academy», 2004, 144 p.
 22. Maksimova E.V., Kositsina A.A., Makurina O.N. Vliyanie antropogennykh faktorov khimicheskoy prirody na nekotorye ekologo-biokhimicheskie kharakteristiki rasteniy [Influence of anthropogenic factors of chemical nature on some ecological and biochemical characteristics of plants]. *Vestnik Samarskogo GU. Estestvenno-nauchnaya seriya* [Bulletin of the SSU. Natural science series], 2007, № 8 (58), pp. 146–152.
 23. Zaytsev G.N. *Matematicheskaya statistika v eksperimental'noy botanike* [Mathematical statistics in experimental botany]. Moscow: Nauka, 1984, 424 p.
 24. Pavlova L.M., Kotel'nikova I.M., Kuimova N.G., Leusova N.Yu., Shumilova L.P. Sostoyanie fotosinteticheskikh pigmentov v vegetativnykh organakh drevesnykh rasteniy v gorodskoy srede [The state of photosynthetic pigments in the vegetative organs of woody plants in an urban environment]. *Vestnik RUDN, seriya Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia, Ecology and Life Safety], 2010, № 2, pp. 11–19.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Злыднев Артём Александрович, аспирант кафедры экологии и рационального природопользования
Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского
ул. Бежицкая, 14, г. Брянск, Брянская область, 241050, Российская Федерация

Онофрейчук Ольга Николаевна, аспирант кафедры экологии и рационального природопользования

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского

ул. Бежицкая, 14, г. Брянск, Брянская область, 241050, Российская Федерация

Анищенко Лидия Николаевна, профессор кафедры экологии и рационального природопользования, доктор сельскохозяйственных наук

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского

ул. Бежицкая, 14, г. Брянск, Брянская область, 241050, Российская Федерация

Lanishchenko@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Zlydnev Artem Nikolaevich, PhD Student, Department of Ecology and Rational Nature Management

Bryansk state University named after academician I. G. Petrovsky

14, Bezhitskaya Str., Bryansk, Bryansk region, 241050, Russian Federation

Onophreychuk Olga Nikolaevna, PhD Student, Department of Ecology and Environmental Management

Bryansk state University named after academician I. G. Petrovsky

14, Bezhitskaya Str., Bryansk, Bryansk region, 241050, Russian Federation

Anishchenko Lydia Nikolaevna, Professor, Department of Ecology and Environmental Management, Doctor of Agricultural Sciences

Bryansk state University named after academician I. G. Petrovsky

14, Bezhitskaya Str., Bryansk, Bryansk region, 241050, Russian Federation

Lanishchenko@mail.ru